УДК 598.842:538.7

К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНОЙ ОРИЕНТАЦИИ ПТИЦ ПО ГЕОМАГНИТНОМУ ПОЛЮ

О. Б. Луцюк, Г. К. Назарчук

(Киевский государственный университет, Киевский планетарий)

Работы последних 20 лет показывают, что реакция на геомагнитное поле и слабые искусственные магнитные поля является общебиологическим свойством. Простейшие, черви и моллюски (Brown, 1962), насекомые (Becker, 1963), рыбы (Холодов, 1958), птицы (Эльдаров и Холодов, 1964; Холодов, 1965), млекопитающие (Холодов, 1963; Холодов, 1965) в той или иной степени подвержены действию магнитного поля. Более того, магнитотропизм обнаружен у водорослей (Palmer, 1963) и высших растений (Крылов и Тараканова, 1960).

Впервые гипотезу о возможной ориентации птиц во время миграций по магнитному полю Земли предложил русский зоолог акад. А. Ф. Миддендорф (Middendorf, 1855). Многие ученые (Viguier, 1882; Thauzies, 1910; Yeagley, 1947) разрабатывали эту гипотезу. Несмотря на неудачи некоторых из них (Gordon, 1948; Schumacher, 1949; Matthews, 1951; Orgel, Smith, 1954), исследования в этой области продолжаются. Мерккель и Фромме (Merkel, Fromme, 1958) экспериментально установили, что весной и осенью зарянки (*Erithacus rubecula* L.), испытывая миграционное беспокойство, способны избирать правильное направление перелета без оптических ориентиров. Фромме (Fromme, 1961), исследуя ориентацию зарянок и славок серых (*Sylvia communis* Lath.) в круглых клетках, показал, что отсутствие звездного неба, вида заходящего Солнца, шестичасовое смещение времени, нарушение ритма активности птиц и др. не изменили их стремления двигаться в привычном направлении. Барноти (Barnothy, 1964) предложил две гипотезы, объясняющие возможность ориентации летящей птицы при отсутствии земных ориентиров в геомагнитном поле. Экспериментальную проверку гипотезы ориентации по магнитному полю провели Меркель и Вильчко (Merkel, Wiltshko, 1965). Оказалось, что при снижении напряженности магнитного поля птицы сначала теряли способность к ориентации, но в длительном эксперименте эта способность постепенно восстанавливалась. Астроориентиры в опыте отсутствовали. Изменяя полярность горизонтальной составляющей искусственного магнитного поля, удалось изменить обычное направление ориентации подопытных птиц.

Методика эксперимента

Для выяснения роли геомагнитного поля в ориентации птиц попытались разработать методику, позволяющую построить прибор и провести серию экспериментов по исследованию ориентации птиц. Особенностью нашего эксперимента являлось использование искусственных астроориентиров в сочетании с искусственным магнитным полем.

Модифицированную круглую клетку Крамера, снабженную электромагнитными счетчиками, помещали в искусственное магнитное поле, для создания которого использовали соленоид прямоугольного сечения. Плотность обмотки 100 витков на 1 *м* обеспечивала хорошая видимость «неба».

Максимальная напряженность магнитного поля (создавалась горизонтальная составляющая) $H_г$ (в *эрст*) на оси соленоида связана с силой тока I (в *а*) соотношением

$$H_г = 1{,}17I.$$

Для обмотки соленоида использовали провод, сечение которого допускало максимальную силу тока $I = 10$ *а*, что позволяло создавать поле до $H_г = 10$ *эрст*. Ориентация соленоида относительно геомагнитного меридиана позволяла менять направление горизонтальной составляющей искусственного магнитного поля, а изменение силы тока в обмотке давало возможность менять величину напряженности магнитного поля.

Эксперимент ставили на зарянках, отловленных в районе Киева за две недели до начала опытов и проявивших в круглой клетке значительное миграционное беспокойство, а также четкую ориентацию (без искусственного магнитного поля). В отличие от экспериментов Зауэра (Sauer, 1957; Sauer, 1958; Sauer E., Sauer E. M., 1960) в наших экспериментах птицы четко ориентировались на северо-запад. Это почти на 180° отличается от обычного направления их осенней миграции. Суть указанного феномена состоит, по-видимому, в навигационной подготовке птиц (пробные полеты) к дальней миграции (Кистяковский, 1965).

Опыты проводили в Киевском планетарии осенью 1968 г. С помощью аппарата «планетарий» (малый Цейсс) звездное небо проектировали на купол диаметром 9,5 *м*. Соленоид размещали на уровне проектора.

Т. к. размеры купола, на который проектируются звезды, конечны, а клетка расположена не в центре купола, а на расстоянии 1 *м* от него, возникает эффект параллакса зенита. Максимальное параллактическое смещение испытывают звезды вблизи зенита, в нашем опыте оно равно 12°. Параллакс возникает и при прыжке птицы со стартового кольца на присадочные жердочки; в данном случае он был равен 3,5°.

Для анализа результатов экспериментов в круглой клетке необходимо ввести количественные характеристики двигательной активности птицы. Очевидно, что простейшей характеристикой будет количество срабатываний счетчиков за единицу времени. Этот показатель, однако, ничего не говорит о стремлении птицы лететь в определённом направлении и о том, насколько четко выражено такое стремление. Т. к. результатом каждого эксперимента является восемь показаний счетчиков, дающих число прыжков птицы в каждом из восьми секторов (сектор равен 45°), то можно рассматривать совокупность этих показаний как восемь векторных величин. Направлением каждого из векторов будем считать среднее направление в секторе, а длиной соответствующее показание счетчика. Т. о., если птица совершила n прыжков в сектор i, средний азимут которого A_i, то этот результат описываем вектором $\vec{r}$ с компонентами

$$r_{x_i} = n_i \cos A_i, \quad r_{y_i} = n_i \sin A_i.$$

Координатная система в соответствии с определением азимута выбрана так, что ось $У$ направлена на север, а ось X на восток; азимут отсчитывается от точки севера к востоку.

Тенденцию к выбору птицей определённого направления характеризует средний вектор $\langle\vec{r}\rangle$, составляющие которого равны

$$\langle\vec{r}\rangle_x = \frac{1}{8}\sum_{i=1}^{8} n_i \cos A_i, \quad \langle\vec{r}\rangle_y = \frac{1}{8}\sum_{i=1}^{8} n_i \sin A_i.$$

Средний азимут, в котором стремится двигаться птица (назовем его углом стремления и будем отсчитывать от точки севера к востоку), определяется соотношением

$$\mathrm{tg} < A > = \frac{<\vec{r}>_y}{<\vec{r}>_x} .$$

Длина среднего вектора

$$|<\vec{r}>| = \sqrt{<r>_x^2 + <r>_y^2}$$

показывает, насколько четко выражена тенденция к выбору определенного направления. Чем менее четко выражена ориентация, тем меньше эта величина. При полном отсутствии ориентации она равна нулю. Однако для того, чтобы сравнивать эксперименты с различным числом прыжков, удобнее пользоваться другой величиной, которую назовем коэффициентом ориентации

$$K = \frac{8 |<\vec{r}>|}{\Sigma n_i}$$

Если бы птица прыгала все время в один сектор, то $K=1$, при равномерном распределении числа прыжков по секторам $K=0$, если бы прыжки совершались в полукруг, то $K=0{,}5$.

Результаты экспериментов

Показатели ориентации птиц в искусственном магнитном поле (по опытам, проведенным в планетарии 14—17 октября) приведены в таблице.

14 октября экспонировали звездное небо Киева. Птица проявила четкую ориентацию на северо-запад. Включение искусственного магнитного поля, перпендикулярного геомагнитному, несколько изменило угол стремления. Последующее увеличение искусственного магнитного поля

Лата	Время опыта	A	K	n	$H_г$	α_H	Экспозиция звездного неба
14—15.X	20^{00}—0^{00}	304°	83,7	176	0,20	0°	Небо Киева
	0^{00}—3^{00}	315°	84,4	278	0,94	77°	То же
	3^{00}—6^{00}	303°	88,0	93	1,42	83°	» »
15—16.X	19^{30}—21^{30}	320°	53,5	173	0,20	0°	Небо Киева
	21^{30}—23^{30}	312°	89,6	128	0,78	0°	То же
	23^{30}—2^{30}	312°	78,4	460	0,78	0°	Небо отсутствует
	2^{30}—3^{30}	322°	28,4	96	0,20	0°	То же
	3^{30}—5^{30}	154°	76,1	435	0,38	180°	Небо Северного полюса
16—17.X	19^{30}—21^{30}	0°	87,2	41	0,20	0°	Небо Киева, но без «летнего треугольника»
	21^{30}—23^{30}	354°	85,6	64	1,31	0°	То же
	23^{30}—3^{30}	356°	80,5	204	3,42	0°	» »
	3^{30}—7^{30}	358°	75,7	225	2,73	180°	» »
17—18.X	19^{30}—20^{30}	358°	72,0	24	0,20	0°	Небо Киева, но **без созвездий Лиры, Орла, Лебедя, Кассиопеи и Большой Медведицы**
	20^{30}—1^{30}	331°	68,2	308	3,46	0°	
	1^{30}—3^{30}	292°	39,9	70	3,06	180°	Небо Киева
	3^{30}—7^{30}	280°	90,6	207	1,32	180°	То же

Условные обозначения: A — угол стремления (в град.); K — коэффициент ориентации (в %); n — двигательная активность (количество прыжков); $H_г$ — напряженность магнитного поля (в *эрст*); α_H — азимут вектора магнитного поля (в град.).

еще больше увеличило угол между горизонтальной составляющей магнитного поля и магнитным меридианом, однако птица вернулась к первоначальному углу стремления. Коэффициент ориентации во всех случаях достаточно высок. Углы стремления, определенные на всех трех этапах эксперимента, лежат в пределах точности отсчета, поэтому можно считать, что создание искусственного магнитного поля и его изменения при естественном виде звездного неба существенным образом не повлияли на ориентацию птицы в клетке.

15 октября условия эксперимента меняли несколько раз: варьировали экспозицию звездного неба, напряженность и полярность магнитного поля. Направление горизонтальной составляющей совпадало с магнитным меридианом.

При экспозиции киевского неба в геомагнитном поле птица ориентировалась на северо-запад. Коэффициент ориентации при этом сравнительно низок. С включением искусственного магнитного поля отклонения от ранее выбранного направления на северо-запад в значительной степени уменьшились, о чем говорит высокий коэффициент ориентации. Это направление ориентации сохранилось и в случае выключения картины звездного неба (купол освещался мягким рассеянным светом) при том же искусственном магнитном поле; коэффициент ориентации несколько снизился. Исключение звездного неба и искусственного магнитного поля существенным образом повлияли на поведение птицы. Резко снизив двигательную активность, она практически утратила способность ориентироваться. Затем птице были созданы совершенно необычные условия: звездное небо Северного полюса и искусственное магнитное поле с обратной полярностью. В этом случае, по-видимому, птица избрала ориентиром магнитное поле.

16 октября в эксперименте использовалась другая птица того же вида. Экспонировалось звездное небо Киева без «летнего треугольника» (α Лиры, α Орла и Лебедя). Птица избрала четкое направление на север, на которое не повлияло увеличение напряженности горизонтальной составляющей магнитного поля. С изменением полярности магнитного поля несколько снизился коэффициент ориентации.

17 октября с киевского звездного неба были убраны созвездия Лиры, Лебедя, Орла, Кассиопеи и Большой Медведицы. Четкая северная ориентация была лишь в естественном магнитном поле. Включение значительного искусственного поля привело к тому, что птица несколько изменила направление ориентации к западу. Коэффициент ориентации оставался приблизительно на одном уровне. Резкое уменьшение коэффициента ориентации вызывалось изменением полярности магнитного поля при его сравнительно большой напряженности. В этом случае демонстрировалось полное звездное небо. Уменьшение напряженности магнитного поля той же полярности привело к резкому возрастанию коэффициента ориентации и некоторому смещению угла стремления к западу.

Выводы

1. Птицы реагируют на изменение магнитного поля.
2. Для определения направления миграции птицы наряду с астроориентирами ориентируются по направлению горизонтальной составляющей магнитного поля Земли.
3. В случае, если звездное небо и магнитное поле дают противоречивую информацию, птица отдает предпочтение более постоянному фактору: виду звездного неба. Если же звезды не видны или же их расположение необычно, птица ориентируется по направлению горизонтальной составляющей геомагнитного поля.

ЛИТЕРАТУРА

Кистяковский А. Б. 1965. О биологическом значении послегнездовых миграций птиц. Тез. IV Всесоюз. орнит. конфер. Алма-Ата.
Крылов А. В. и Тараканова Г. А. 1960. Явление магнитотропизма у растений и его природа. Физиол. раст., т. 7, в. 2.
Холодов Ю. А. 1958. Образование условных рефлексов на магнитное поле у рыб. Тр. совещ. по физиол. рыб., в. 82. М.
Его же. 1963. Влияние постоянного магнитного поля на ЭЭГ изолированного мозга кролика. В сб.: «Электрофизиология нервной системы». Тез. докл. Р/Д.
Его же. 1965. Магнитное поле как раздражитель. В сб.: «Бионика». М.
Эльдаров А. Л., Холодов Ю. А. 1964. Влияние постоянного магнитного поля на двигательную активность птиц. Журн. общ. биол., т. 25, № 3.
Barnothy G. M. 1964. Proposed mechanisms for the navigation of migrating birds. Biol. effects magnet. fields. New York.
Becker G. 1963. Magnetfield Orientierung von Dipteren. Naturwissenschaften, Bd. 50, H. 21.
Brown F. A. 1962. Responses of the planarian and protozoa to very wear horizontal magnetik fields. Biol. Bull., v. 123, № 2.
Fromme H. G. 1961. Untersuchungen über das Orientierungsvermögen nächtlich ziehender Kleinvogel (Erithacus rubecula, Sylvia communis). Ztsch. für Tierpsychologie, Bd. 18, № 2.
Gordon D. A. 1948. Sensitivity of the homing pigeon to the magnetik field of the earch. Sci., v. 108.
Matthew's G. V. T. 1951. The sensory basis of bird navigation. J. Inst. Navigation, v. 4.
Merkel F. W., Fromme H. G. 1958. Untersuchungen über das Orientierungsvermögen nächtlich ziehender Rotkehlchen (Erithacus rubecula). Naturwissenschaften, Bd. 45, № 20.
Merkel F. W., Wiltschko W. 1965. Magnetismus und Richtungsfinden zugunruhigen Rotkechlchen (Erithacus rubecula). Vogelwarte, Bd. 23, № 1.
Middendorf A. V. 1855. Isopiptesen des Russland. St.-Peterburg.
Orgel A., Smith J. 1954. Test of magnetic theory of homing. Sci., v. 120, № 3126.
Palmer J. D. 1963. Organismic spatial orientation in very magnetic fields. Nature, v. 198, № 4885.
Sauer F. 1957. Astronavigatorische Orientierung einer unter künstlichem Sternenhimmel verfrachteten Klappengrasmücke, Sylvia c. curruca (L.). Naturwissensch., Bd. 44, № 3.
Его же. 1958. Celestial navigation by birds. Sci. Amer., v. 199, № 2.
Sauer E. G. F., Sauer E. M. 1960. Star navigation of nocturnal migrating birds. The 1958 planetarium experiments. Cold Spring Harbor Simposia on Quantitative biology, v. 25.
Schumacher W. C. 1949. A preliminary study of a physical basis of bird migration. J. Appl. Phys., v. 20.
Thauzies A. 1910. L'orientation liontaine 6-me Intern. Congr. Psychol. Paris.
Viguier C. 1882. Le sens d'orientation et ses organes chez l'homme. Rev. Phil., № 14.
Yeagiey H. L. 1947. A preliminary Study of a physical basis of bird navigation. J. Appl. Phys., v. 18.

Поступила 28. III 1969 г.

ON THE PROBLEM OF POSSIBLE ORIENTATION OF BIRDS BY GEOMAGNETIC FIELD

O. B. Lutsyuk, G. K. Nazarchuk

(State University, Planetarium, Kiev)

Summary

In autumn 1968 in the Kiev planetarium under artificial star sky the experiments were carried out on studying *Erithacus rubecula* L. orientation in the artificial magnetic field.

The experiments showed that when the star sky was natural and magnetic field — artificial, sharply different from the geomagnetic one, the birds orient themselves by astroorientators. When the star sky has an unusual appearance the birds under experiment orient themselves along the direction of the horizontal component of the magnetic field.